

金沢大学
金沢大学【院】
日立製作所・機械研

○茶谷明義, 放生明廣, 立矢宏
有竹恭大, 松崎良彦
平野敦也, 町田隆志

1. 緒言

木材の強度に関する研究は、基本的な静的荷重下でのものが多く、衝撃荷重下での強度に関する研究は少ない。さらに、衝撃荷重下で大変形を伴う場合の評価法も十分に確立されていない。しかし木材は、構造部材としてだけでなく、衝撃緩衝材として、よく用いられるため、衝撃荷重下での特性に関する資料が求められている。

本研究ではバルサ材を供試体として、大変形域までにわたる衝撃圧縮試験法を検討するとともに、同材料の衝撃特性を明らかにし、衝撃吸収材として用いる際に有用な資料を得ることを目的とする。また、比較のため、木材の静的および動的な強度も明らかにする。

2. 試験片および試験方法

2・1 試験片 試験片は、一辺が12mmの立方体であり、図1に示すように各面が、板目面(Flat grain face)、柃目面(Edge grain face)、木口面(End grain face)となるように加工されている。本研究では、以後この状態を標準試験片とする。さらに、図1のように、標準試験片から柃目面を木口面方向へ傾けた場合の傾斜角を θ とし、 $\theta = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ となるように加工した試験片を作成した。なお、木材は比重による影響が大きく、バルサも同様のことが考えられるため、試験片形状に加工した後、見かけの比重を測定した。

試験片は含水率の変化を避けるため、密閉して冷暗室に保存した。表1に使用したバルサの比重および含水率の平均値を示す。含水率に関しては、年間を通して $\pm 0.2\%$ 程度の変化であったため、本研究では含水率は一定と見なした。

2・2 試験方法 静的圧縮試験(ひずみ速度約 $1.0 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$)および動的圧縮試験(同約 0.1 s^{-1})は万能試験機を、衝撃圧縮試験(同約 400 s^{-1})はホプキンソン棒式一軸圧縮試験機を用いて行った。

ひずみの測定は、すべての圧縮試験において非接触変位測定器を用いて行った。また、応力の測定は、静的および動的試験では、万能試験機付属のロードセルを用い、衝撃試験においては、出力棒に貼付したひずみゲージを用いて行った。しかし、広範囲にわたるひずみを測定するには、従来のHPB装置では棒の長さが不十分であり、反射波が混入するため、測定が良好に行うことができない。そこで、出力棒の2箇所にひずみゲージを貼付し、2ゲージ法を適用して応力を測定した。

なお、本研究では、大きな変形が生じた試験片の横変形に関する測定が困難であったため、公称応力、公称ひずみを採用した。

3. 応力-ひずみ関係

図2に標準試験片を用いた場合の各圧縮面における衝撃応力-ひずみ関係を、図3に $\theta = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ とした試験片の衝撃応力-ひずみ関係を示す。なお、図の周期的な波打ちは試験方法による影響で、実際の応力-ひずみ関係は波の上部を連ねたものであると考えられる。また本研究では、応力-ひずみ関係の負荷初期における最大値もしくは折れ曲がり点(図中の①)を降伏応力とする。

図2より板目面圧縮、柃目面圧縮の場合、応力は、降伏点にいたるまで急激に増加し、その後、ひずみが30~40%近傍に達するまでは緩やかに増加する。さらに、ひずみが40%近傍に達した後、30%に応力は再び顕著に増加し始める。木口面圧縮の場合は、応力は、降伏点にいたるまで急激に増加し、降伏後はひずみの増加とともに、徐々に減少する。このような各試験結果より、バルサ材の強度に関する異方性が確認される。

$\theta \neq 0^\circ$ の試験片では、図3に示すように、 $\theta = 30^\circ$ の場合、柃目面の傾向が強くなり、 $45^\circ, 60^\circ$ と θ が大きくなるに従い、木口面の傾向が強くなり、すなわち、荷重の方向が木口面の方向に近づくにつれ、応力-ひずみ関係の傾向は柃目面から木口面の傾向へ移行する。しかし、 $\theta \neq 0^\circ$ の試験片を圧縮した場合、ハニカム状構造の繊維に沿って滑りを起こすため、繊維間の締結力も問題となる。図3の結果より、 $\theta = 30^\circ$ の場合と、最も滑りの影響を受けると予測される $\theta = 45^\circ$ の場合を比較すると、荷重方向が異なっても、降伏応力に差があまり生じないことがわかる。これは、せん断応力が最大となる 45° 方向において、木材がハニカム状構造の繊維に沿ってすべりを起こし、強度が低下したためと考えられる。また、降伏応力はばらつきが大きくなるのも同様な理由によるものと考えられる。

4. 比重またはひずみ速度が強度に及ぼす影響

先に示したような応力-ひずみ関係より、各条件下での降伏応力を求め、応力-比重関係および応力-ひずみ速度関係図を作成し、比重またはひずみ速度が強度に及ぼす影響を検討する。例として、図4に標準試験片を用いた際の静的荷重下における応力-比重関係を、図5に衝撃荷重下における応力-比重関係を示す。また、図6に木口面圧縮における応力-ひずみ速度関係を示す。図4、図5より、標準試験片を用いた試験では、いずれの条件下においても強度に関する比重依存性が確認することができ、比重が大きくなるほど応力も大きくなる。さらに、木口面圧縮では、降伏応力において比重による影響が、顕著にあらわれる。このような傾向は、動的圧縮試験においても同様であった。

なお、詳細は省略するが、 $\theta = 30^\circ$ 、 45° 、 60° の試験片を用いた場合も、標準試験片と同じく比重依存性が確認された。降伏応力に比重による影響が顕著にあらわれるのは $\theta = 60^\circ$ の場合であり、その大きさも他と比べ高い値であった。一方、 $\theta = 30^\circ$ 、 45° では比重による影響や、降伏応力の差があまり生じなかった。これは、荷重方向の影響によるもので、その方向が木口面方向に近いほど、木口面に類似した傾向となった。

ひずみ速度が強度に及ぼす影響に関しては、図6に示すように、木口面圧縮では、ひずみ速度による影響が見られ、ひずみ速度が高いほど応力も高い値を示している。なお、他の圧縮面の場合においても、ほぼ同様なひずみ速度依存性が確認される。

5. 結言

本研究では、バルサ材を対象とし、板目面、柃目面、木口面を考慮した各種圧縮試験方法を検討するとともに、様々な状態における変形挙動を明らかにした。得られた結果を以下に要約する。

- (1) バルサ材の各圧縮面の変形挙動より、バルサ材の強度に関する異方性が確認された。
- (2) 応力-比重関係および応力-ひずみ速度関係より、強度に関する比重依存性およびひずみ速度依存性を明らかにした。
- (3) 荷重方向により変形挙動が大きく変化した。これは対応する変形機構が異なるためと考えられる。

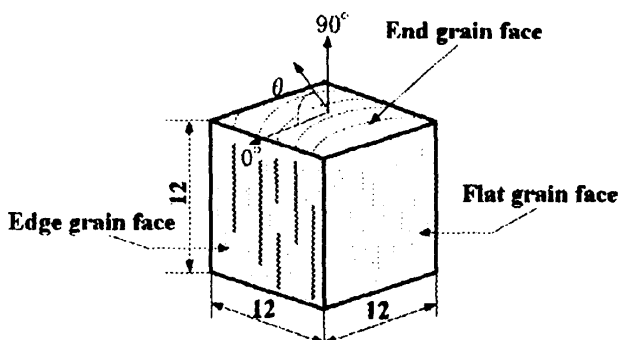


Fig.1 Dimensions of specimen

Table.1 Moisture and density of specimen

Moisture content (%)	Density (g/cm ³)
8.4 ± 0.2	0.079 ~ 0.296

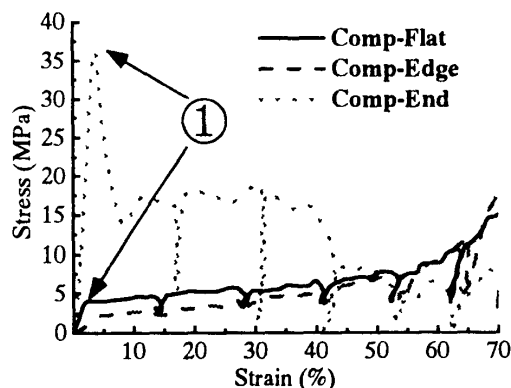


Fig.2 Relationship between the strains and stresses

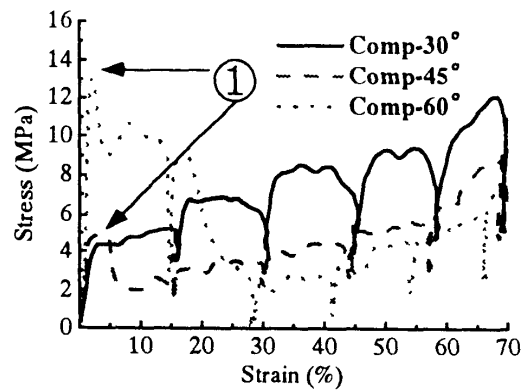


Fig.3 Relationship between the strains and stresses

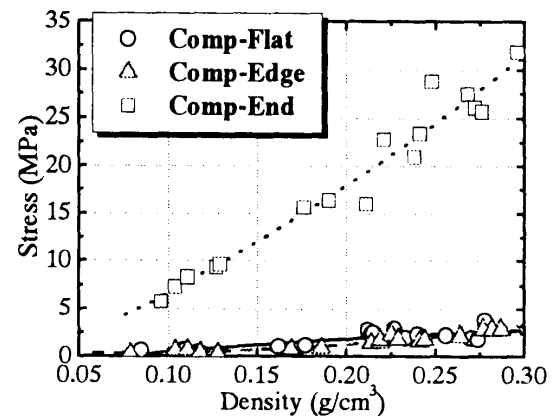


Fig.4 Relationship between the density and yield stress under static loading

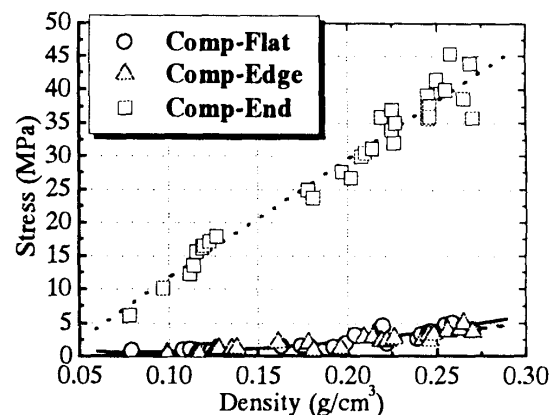


Fig.5 Relationship between the density and yield stress under impact loading

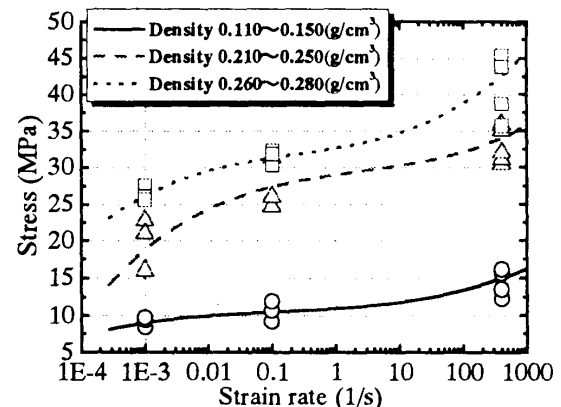


Fig.6 Relationship between the strain rate and yield stress on End grain face